

Pelarasan Vektor Garis Dasar GPS: Perisian Komputer Untuk Kegunaan Ukur Deformasi

Halim Setan, Ph.D

Heng Aik Chuan

Center for Industrial Measurement and Engineering Surveying (CIMES)
Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi
Universiti Teknologi Malaysia Skudai

Abstrak

Kertas kerja ini membincangkan proses pelarasan kuasa dua terdikit vektor garis dasar GPS bagi kegunaan ukur deformasi. Persamaan umum digunakan untuk mendapatkan tiga penyelesaian pelarasan, iaitu penyelesaian surihan minima, surihan separa minima dan kekangan minima. Prosidur pelarasan ini seterusnya diimplementasikan dalam perisian komputer ADJUST untuk kegunaan komputer peribadi. Contoh hasil ujian disertakan juga.

1.0 PENGENALAN

Kerja pengawasan deformasi dalam ukur kejuruteraan selalunya menggunakan jaringan ukur yang dicerap secara berulang pada epok yang berlainan. Kaedah cerapan geodetik yang boleh digunakan ialah kaedah terrestrial (menggunakan stesen penuh dan ukur aras jitu), fotogrametri jarak dekat dan Global Positioning System (GPS). Pada asasnya, analisis yang terlibat terdiri daripada dua peringkat: pelarasan kuasa dua terdikit cerapan setiap epok secara berasingan dan pengesanan deformasi antara epok (Halim, 1997).

Proses pelarasan menggunakan konsep persamaan cerapan (Halim, 1995). Pada umumnya, ada 3 kaedah penyelesaian untuk pelarasan berdasarkan datum yang dipilih, iaitu penyelesaian kekangan minima, surihan minima dan surihan separa minima (Caspary, 1987).

Dalam praktis, pelarasan menggunakan kaedah kekangan minima. Ini kerana ianya mudah dilaksanakan. Perisian komersil masakini untuk pelarasan masih terhad kepada penyelesaian kekangan minima sahaja. Walaupun begitu, kaedah mudah ini kurang sesuai untuk pelarasan data ukur deformasi (Chen et al., 1990). Ini disebabkan jaringan ukur deformasi selalunya terdiri daripada dua set titik, iaitu titik kawalan dan titik sasaran (atau titik objek). Dalam keadaan ini, titik kawalan digunakan sebagai datum, dan penyelesaian surihan separa minima diperlukan. Sekiranya kesemua titik hendak digunakan sebagai datum, penyelesaian surihan minima perlu dilakukan.

Data cerapan GPS ialah dalam bentuk vektor garis dasar (Leick, 1995). Kertas kerja ini membincangkan persamaan umum untuk pelarasan kuasa dua terkecil vektor garis dasar GPS menggunakan ketiga-tiga kaedah di atas (kekangan minima, surihan minima dan surihan separa minima). Seterusnya perisian komputer ADJUST yang telah ditulis untuk pelarasan tersebut dibincangkan, diikuti dengan contoh hasil ujian.

2.0 PERSAMAAN UMUM PELARASAN

Persamaan yang biasa digunakan untuk pelarasan kuasa dua terdikit dengan kaedah kekangan minima ialah (Halim, 1996):

$$A \hat{x} = b + v \quad \text{persamaan cerapan} \quad (1)$$

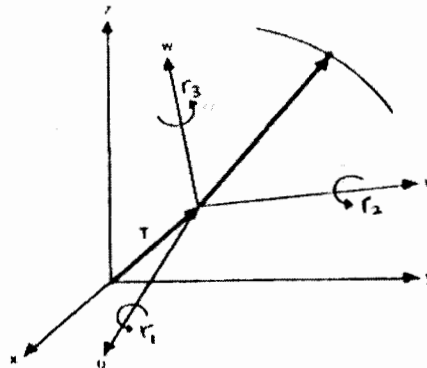
$$A^T W A \hat{x} = A^T W b \quad \text{persamaan normal} \quad (2)$$

$$\hat{x} = N^{-1} U = (A^T W A)^{-1} A^T W b \quad \text{penyelesaian} \quad (3)$$

$$Q_{\hat{x}\hat{x}} = N^{-1} = (A^T W A)^{-1} \quad \text{matrik varian kovarian} \quad (4)$$

Dalam persamaan (1) hingga (4), A ialah matriks rekabentuk, \hat{x} vektor parameter, b vektor tikaian, v vektor reja, W matrik pemberat dan Q matrik varian kovarian. Persamaan (3) dan (4) dapat diselesaikan sekiranya matrik N dan matrik A adalah takat penuh (full rank). Tetapi sebenarnya matrik N dan matrik A tidak takat penuh disebabkan kecacatan reka bentuk dan kecacatan datum (Cooper and Cross, 1991), dan ini menyebabkan N menjadi singular dan songsangannya (N^{-1}) tidak wujud. Selalunya kecacatan reka bentuk boleh diatasi diperingkat rekabentuk dengan penambahan cerapan. Masalah kecacatan datum dalam N boleh dihapuskan dengan mendefinisikan datum yang sesuai, menggunakan konsep persamaan kekangan (Koch, 1987).

Untuk jaringan tiga dimensi (3-D), definisi datum memerlukan 7 elemen datum, iaitu 3 translasi, 3 putaran dan 1 skala (Rajah 1). Ada cerapan yang mengandungi elemen datum, dan ini akan mengurangkan bilangan elemen datum yang diperlukan. Dalam jaringan GPS, cerapan vektor garis dasar adalah dalam bentuk 3-D ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$). Ini akan memberikan 4 elemen datum (iaitu 3 elemen putaran pada paksi x, y, z dan satu elemen skala) dan akan meninggalkan 3 elemen kecacatan datum iaitu translasi sepanjang paksi x, y dan z (Halim, 1995).



Rajah 1. Elemen datum (T mewakili 3 elemen translasi; r_1, r_2, r_3 mewakili 3 elemen putaran)

Persamaan kekangan untuk mendefinisikan maklumat datum yang hilang ialah (Biacs, 1989):

$$C^t x = 0 \quad (5)$$

$$C = I_p G \text{ dan } C^t = G^t I_p$$

Dalam persamaan (5), C ialah matrik 'general constraints' dan G pula matrik 'inner constraints'. I_p adalah matrik pepenjuru dengan nilai uniti (satu) untuk stesen datum dan sifar untuk stesen bukan datum. Matrik G^t yang penuh ditunjukkan dalam Rajah 2. Tiga lajur pertama matriks G^t mendefinasi translasi paksi x, y dan z. Tiga lajur seterusnya pula mendefinasi putaran pada paksi x, y dan z, sementara lajur yang terakhir mendefinasi skala jaringan. Jika cerapan mengandungi maklumat datum, kecacatan datum adalah kurang dari tujuh dan lajur G^t yang berkenaan dihapuskan.

$$G^t = \begin{bmatrix} +1 & 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & \dots & +1 & 0 & 0 \\ 0 & +1 & 0 & 0 & +1 & 0 & \dots & 0 & +1 & 0 \\ 0 & 0 & +1 & 0 & 0 & +1 & \dots & 0 & 0 & +1 \\ 0 & +z_1 & -y_1 & 0 & +z_2 & -y_2 & \dots & 0 & +z_n & -y_n \\ -z_1 & 0 & +x_1 & -z_2 & 0 & +x_2 & \dots & -z_n & 0 & +x_n \\ +y_1 & -x_1 & 0 & +y_2 & -x_2 & 0 & \dots & +y_n & -x_n & 0 \\ +x_1 & +y_1 & +z_1 & +x_2 & +y_2 & +z_2 & \dots & +x_n & +y_n & +z_n \end{bmatrix}$$

Rajah 2. Komponen penuh matrik G^t bagi jaringan 3-D (Halim, 1995)

Kombinasi persamaan (1) dan (4) memberikan penyelesaian asas yang berikut (Caspary, 1987; Halim, 1995):

(a) Penyelesaian surihan minima

Dalam penyelesaian surihan minima semua stesen jaringan akan dipertimbangkan sebagai parameter. Penyelesaian untuk \hat{x} dan $Q_{\hat{x}}$ ialah:

$$\hat{x} = (N+GG^t)^{-1}A^tWb \quad (6)$$

$$Q_{\hat{x}} = (N+GG^t)^{-1}N(N+GG^t)^{-1} \quad (7)$$

Ciri-ciri asas penyelesaian ini ialah surihan matrik varian kovarian bagi parameter terlaras adalah minima dan penyelesaian \hat{x} mempunyai norma (norm) yang minimum.

(b) Penyelesaian surihan separa minima

Dalam penyelesaian surihan separa minima, bilangan koordinat yang digunakan sebagai datum melebihi bilangan kecacatan datum (tiga).

Penyelesaian bagi \hat{x} dan $Q_{\hat{x}}$ ialah:

$$\hat{x} = (N+CC^t)^{-1}A^tWb \quad (8)$$

$$Q_{\hat{x}} = (N+CC^t)^{-1}N(N+CC^t)^{-1} \quad (9)$$

Surihan separa matrik varian kovarian dan surihan norma separa adalah minima.

(c) Penyelesaian kekangan minima

Dalam penyelesaian ini bilangan koordinat yang minima (iaitu tiga, sama dengan kecacatan datum) digunakan untuk mendefinisikan datum, iaitu menetapkan satu titik (x, y, z) sebagai datum.

Bentuk penyelesaian kekangan minima bagi \hat{x} dan $Q_{\hat{x}}$ sama seperti persamaan (8) dan (9), iaitu:

$$\hat{x} = (N+CC^t)^{-1}A^tWb \quad (10)$$

$$Q_{\hat{x}} = (N+CC^t)^{-1}N(N+CC^t)^{-1} \quad (11)$$

Koordinat yang dipilih sebagai datum dalam penyelesaian kekangan minima tidak berubah nilainya dan variannya adalah sifar. Ini juga menjadi sebagai 'zero variance reference base'. Maka semua parameter terlaras dan matrik varian kovarian akan merujuk kepada 'zero variance reference base' atau titik yang ditetapkan sebagai datum (Cooper and Cross, 1991).

3.0 IMPLEMENTASI PERISIAN ADJUST

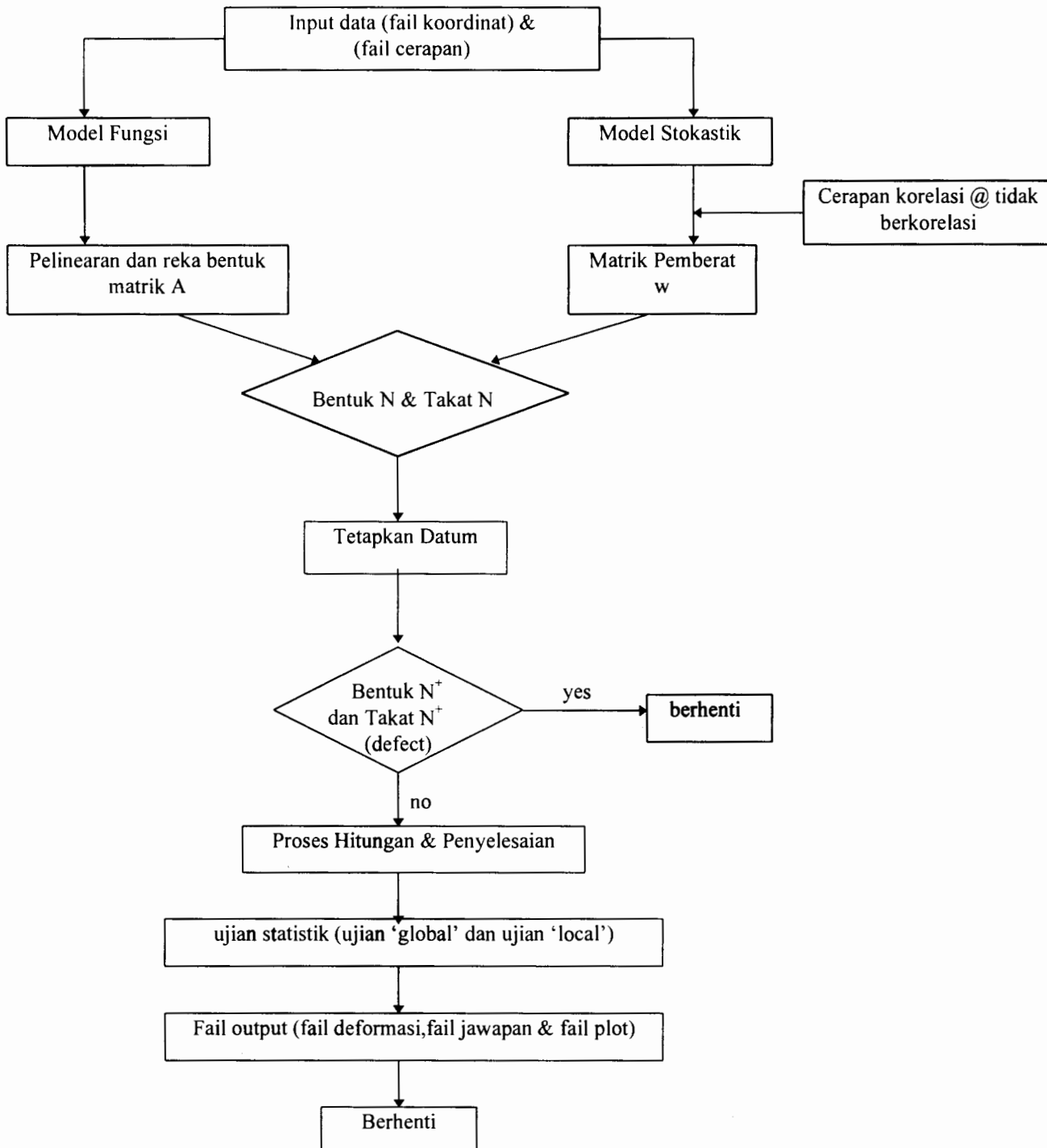
Perisian ADJUST ditulis untuk pelarasan kuasa dua terdikit vektor garisdasar GPS (Δx , Δy , Δz). ADJUST menggunakan persamaan (6) hingga (11) untuk mendapatkan penyelesaian kekangan minima, surihan minima dan surihan separa minima.

Struktur carta-alir perisian ADJUST ditunjukkan dalam Rajah 3 (Heng, 1996). Perisian ADJUST boleh memproses cerapan berkorelasi dan cerapan tidak berkorelasi. Data input yang diperlukan ialah koordinat anggaran, data cerapan bagi setiap garis dasar (Δx , Δy , Δz) dan sisihan piawai mereka (serta nilai pekali korelasi jika perlu). Ketiga-tiga jenis data ini boleh diperolehi terus daripada perisian pemprosesan cerapan GPS (contohnya, Global Positioning Processing System). Proses dalam ADJUST boleh diringkaskan seperti berikut. Setelah kemasukan data (koordinat anggaran dan cerapan), pemilihan kaedah penyelesaian boleh dilakukan. Ini diikuti dengan analisis kecatatan matrik sebelum penyongsangan menggunakan teknik Singular Value Decomposition (Forsythe et al, 1977; Halim, 1995). Sekiranya ada kecatatan, perisian ini akan dihentikan secara automatik. Pemprosesan selanjutnya melibatkan pelarasan kuasa dua terdikit secara iterasi dan ujian statistik dilakukan pada peringkat akhir.

Dalam ADJUST, ujian statistik menggunakan ujian global dan ujian lokal (Halim, 1996). Ujian global (untuk ujian keseluruhan) menggunakan ujian 'chi squares' terhadap faktor varians, samada satu hala ataupun dua hala. Ujian local (untuk mengesan selisih kasar dalam cerapan) pula menggunakan kaedah Pope's Tau.

Output daripada perisian ADJUST ialah tiga fail, iaitu fail jawapan (maklumat hasil pelarasan), fail deformasi (untuk analisis deformasi) dan fail plot (untuk persembahan grafik).

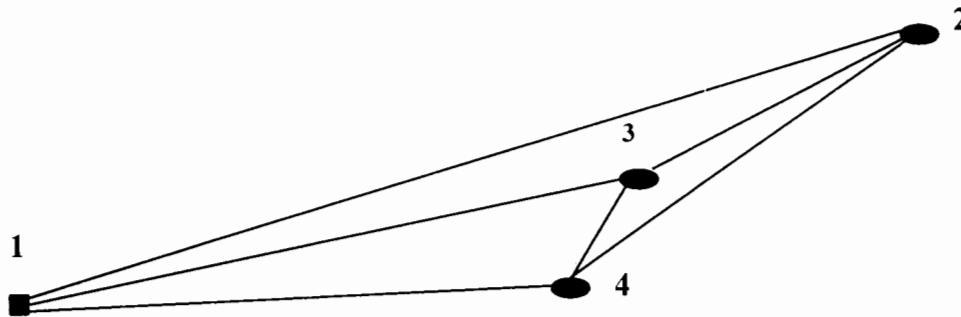
Pelarsan Vektor Garis Dasar GPS:
Perisian Komputer Untuk Kegunaan Ukur Deformasi



Rajah 3. Carta Alir Struktur Perisian ADJUST

4.0 CONTOH HASIL

Jaringan ujian GPS yang mengandungi 4 stesen (12 parameter) dan mempunyai 6 garis dasar (18 cerapan iaitu 6 Δx , 6 Δy dan 6 Δz) ditunjukkan dalam Rajah 4. Cerapan dianggap tidak berkorelasi. Tiga jenis penyelesaian iaitu kekangan minima, jaringan bebas dan surihan separa minima dilakukan untuk pelarasan data GPS menggunakan perisian ADJUST.



Rajah 4. Jaringan GPS

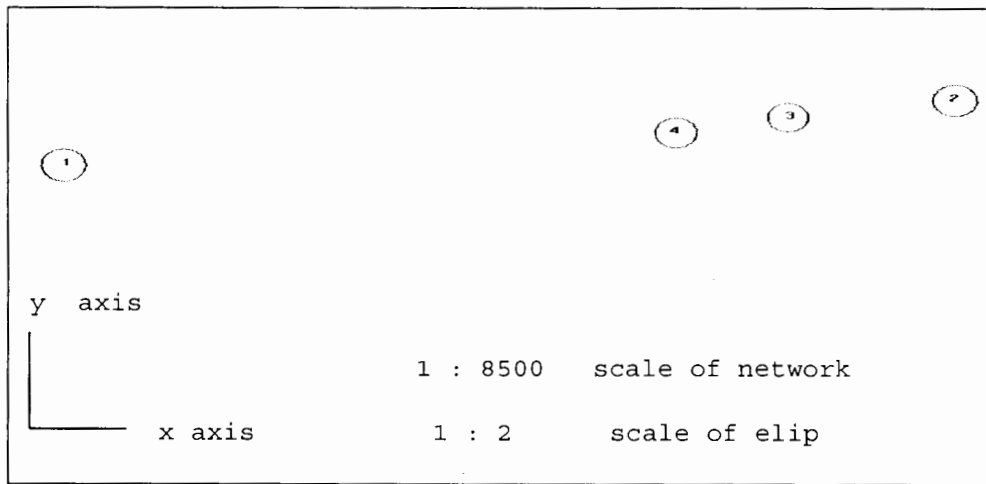
Vektor reja \hat{v} , adalah sama antara penyelesaian surihan minima, surihan separa minima dan kekangan minima. Seterusnya kuantiti seperti, $Q_{\hat{v}}$, \hat{I}_a , $Q_{\hat{I}_a}$, Ω dan $\hat{\sigma}_0^2$ yang dihitung dari ketiga-tiga penyelesaian juga tetap sama. Kesemua kuantiti tersebut tidak bergantung kepada sebarang datum atau 'datum independent' (Heng, 1996).

Parameter terlaras \hat{x} dan matrik varian kovarian bagi ketiga-tiga jenis penyelesaian adalah berbeza-beza. Persembahan grafik ralat elip bagi penyelesaian ditunjukkan dalam Rajah 5 hingga Rajah 7. Bentuk ralat elip bagi penyelesaian surihan minima (Rajah 5) menunjukkan semua stesen dalam jaringan mempunyai ralat elip dan saiznya adalah kecil. Untuk penyelesaian surihan separa minima (titik datum: stesen 2 dan 3), pemilihan titik-titik yang berlainan sebagai datum akan menghasilkan set ralat elip yang berbeza saiznya (Rajah 6). Saiz ralat elip untuk titik datum adalah yang paling kecil jika dibandingkan dengan stesen bukan datum. Untuk penyelesaian kekangan minima (titik datum: stn 1), titik datum tidak mempunyai ralat elip (Rajah 7). Pada amnya, saiz ralat elip bagi titik bukan datum bergantung kepada jaraknya diantara titik datum. Lazimnya, titik yang jauh dari titik datum mempunyai kejitian yang rendah dan mempunyai ralat elip yang besar.

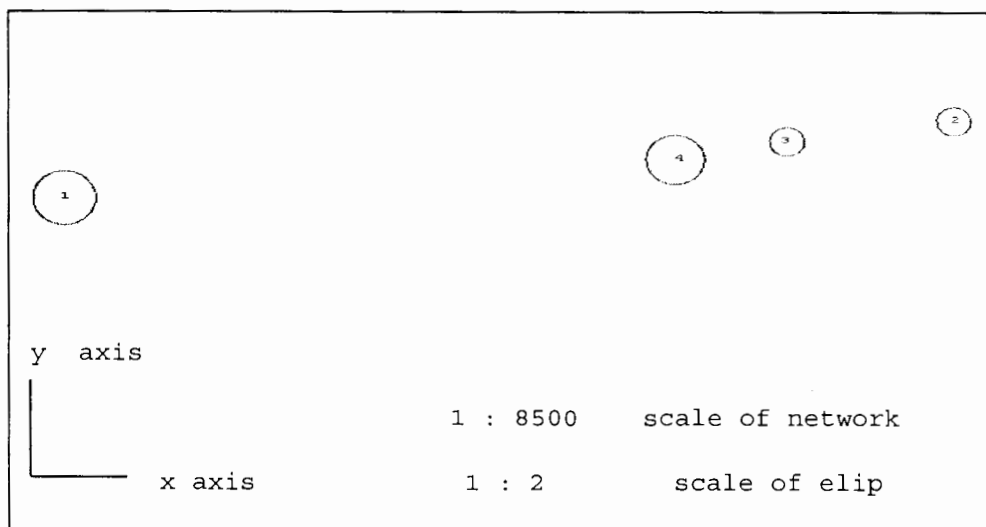
Sebagai semakan terhadap hasil perisian ADJUST, pelarasan jaringan juga dilakukan menggunakan perisian GEOLAB (penyelesaian kekangan minima dengan datumnya x_1, y_1, z_1). Hasil pelarasan daripada perisian GEOLAB dan ADJUST adalah hampir sama. Perbandingan nilai koordinat terlaras yang dihitung (Jadual 1) menunjukkan perbezaan yang sangat kecil, iaitu 0.0001 m.

5.0 KESIMPULAN

Perisian ADJUST ialah perisian pelarsan kuasa dua terdikit yang mempunyai kebolehan melakukan penyelesaian kekangan minima, jaringan bebas dan surihan separa minima bagi pelarsan cerapan 3D vektor GPS. Ia boleh memproses cerapan berkorelasi dan cerapan tidak berkorelasi. Perisian ADJUST ini menghasilkan fail jawapan, fail plot dan fail deformasi yang mengandungi matrik varian kovarian. Hasil daripada perisian ADJUST telah disemak menggunakan perisian GEOLAB. Untuk kegunaan pengesanan deformasi, ADJUST dapat menghasilkan fail deformasi yang boleh digunakan sebagai input untuk perisian DETECT (Halim, 1995).



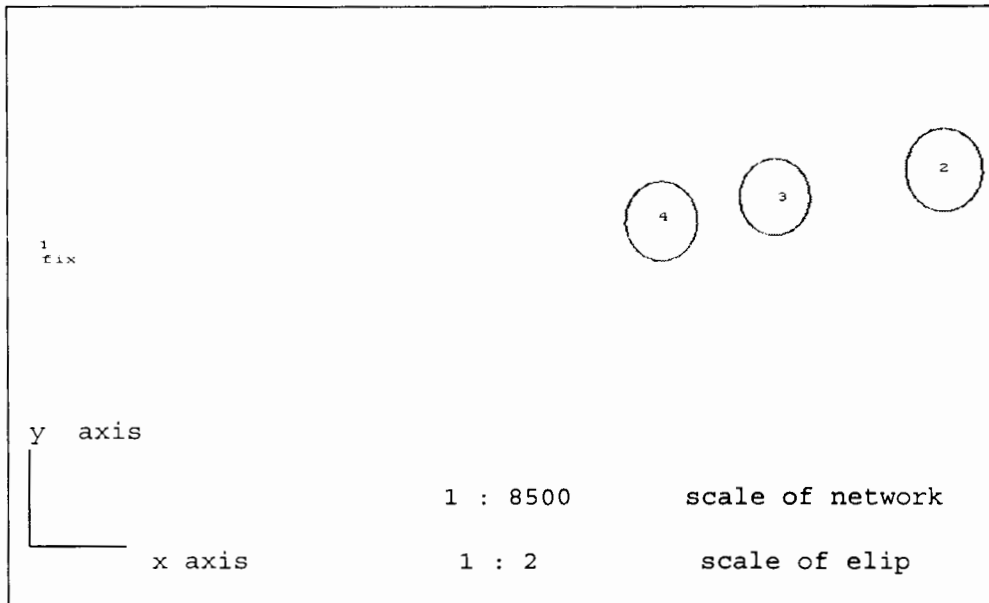
Rajah 5. Penyelesaian surihan minima (pandangan pelan dan elip xy)



Rajah 6. Penyelesaian surihan separa minima (pandangan pelan dan elip xy)

PENGHARGAAN

Kajian ini ialah sebahagian daripada projek penyelidikan tajaan Unit Penyelidikan dan Perundingan (UPP) UTM Skudai melalui Vot 71058.



Rajah 7. Penyelesaian kekangan minima (pandangan pelan dan elip xy)
[titik datum stesen 1, tetap x_1, y_1, z_1]

STN	KOORDINAT	GEOLAB	ADJUST	BEZA
1	X	-1504075.4124	-1504075.4124	0.0000
	Y	6195966.4793	6195966.4793	0.0000
	Z	173575.3076	173575.3076	0.0000
2	X	-1503029.9451	-1503029.9452	0.0001
	Y	6196140.9976	6196140.9975	-0.0001
	Z	171916.0034	171916.0034	0.0000
3	X	-1503225.0801	-1503225.0801	0.0000
	Y	6196094.5867	6196094.5866	-0.0001
	Z	172280.4697	172280.4697	0.0000
4	X	-1503356.3752	-1503356.3752	0.0000
	Y	6196053.5485	6196053.5485	0.0000
	Z	171833.9315	171833.9315	0.0000

Jadual 1. Perbandingan koordinat terlaras (kekangan minima)
antara perisian GEOLAB dan ADJUST (unit m)

**Pelarasan Vektor Garis Dasar GPS :
Perisian Komputer Untuk Kegunaan Ukur Deformasi**

RUJUKAN

BIACS, Z. F. (1989). Estimation and hypothesis testing for deformation analysis in special purpose network, Department of Surveying Engineering, The University of Calgary, UCSE report 20032, Calgary.

CASPARY, W. F. (1987). Concepts of network and deformation analysis. School of Surveying, The University of New South Wales, Monograph 11 Kensington, N.S.W., Australia.

CHEN, Y.Q., CHRZANOWSKI, A. and SECORD, J.M. (1990). A strategy for the analysis the stability of reference points in deformation surveys. CISM Journal ACSGC 44(2):141-149.

COOPER, M.A.R. and CROSS, P.A. (1991). Statistical concepts and their application in photogrammetry and surveying, Photogrammetric Record 13(77):645-678

FORSYTHE, G.E., MALCOLM, M.A. and MOLER, C.B. (1977). Computer methods for mathematical computations. (London: Prentice-Hall).

HALIM SETAN (1995). Functional and stochastic model for geometrical detection of spatial deformation in engineering: a practical approach, Ph.D thesis, ESRC, Department of Civil Engineering, City University, London.

HALIM SETAN (1996). A Practical Strategy For Detecting Multiple Gross Errors. Buletin Ukur, 7(1) : 1-10.

HALIM SETAN (1997). Prosidur hitungan dan perisian untuk ukur deformasi. Akan diterbitkan dalam The Surveyor (Malaysia).

HENG AIK CHUAN (1996). Prosedur pelarasan data GPS untuk ukur deformasi. Tesis Projek Sarjana Muda, Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia.

KOCH, K.R. (1987). Parameter estimation and hypothesis testing in linear models. (London: Springer-Verlag).

LEICK, A. (1995). GPS Satellite Surveying, second edition. (John Wiley & Sons, Inc).

Bibliography

Dr. Halim Setan ialah seorang Prof. Madya di Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi (FKSG), Universiti Teknologi Malaysia Skudai. Beliau memperolehi B.Sc(Hons) in Surveying and Mapping Sciences (North East London Polytechnic, 1984), M.Sc in Geodetic Science (Ohio State University USA, 1988) dan PhD in Engineering Surveying (City University London, 1995). Sekarang ini beliau menjadi Pengarah Center for Industrial Measurement and Engineering Surveying (CIMES) di FKSG. Bidang yang diminatinya ialah ukur deformasi, pelarasan ukur, automasi ukur dan ukur industri.

Heng Aik Chuan memperolehi Sarjana Muda Ukur dari Universiti Teknologi Malaysia Skudai pada tahun 1996. Sekarang ini beliau berkhidmat dengan firma Comtrac Sdn. Bhd. di Kuala Lumpur.